



# Путь с лежнями для тоннелей метрополитенов



Николай КРАВЧЕНКО  
Nikolay D. KRAVCHENKO

Галина КРАВЧЕНКО  
Galina M. KRAVCHENKO



*Кравченко Николай Дмитриевич — доктор технических наук, доцент Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

*Кравченко Галина Михайловна — кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиноведение, проектирование, стандартизация и сертификация» МИИТ, Москва, Россия.*

## Track on Longitudinal Concrete Beams for Metro Tunnels

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 48)

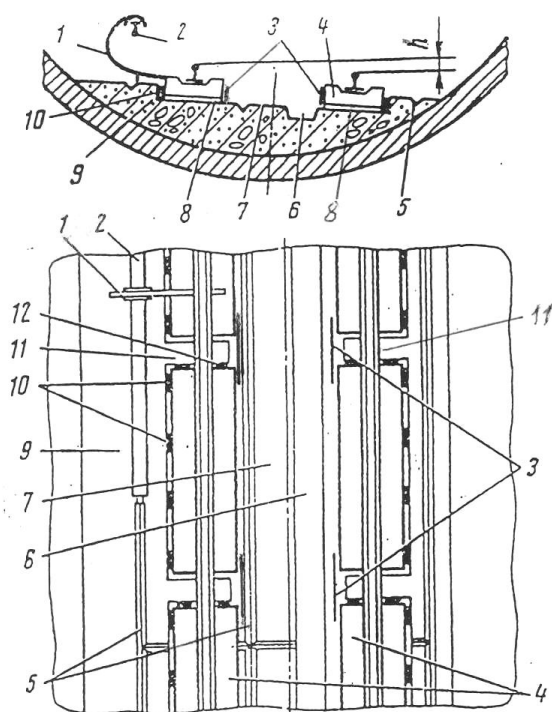
**Изложены конструктивные особенности и технология устройства виброзащитного пути, в котором в качестве подрельсового основания используются продольно ориентированные железобетонные балки, называемые лежнями. Показаны преимущества этой конструкции по существенным показателям в сравнении с другими конструкциями, применяемыми в метрополитене.**

Ключевые слова: метрополитен, тоннель, виброзащитный путь, лежни, регулировка, ширина колеи, рельсовое скрепление.

**С** увеличением объемов строительства метрополитенов в городах страны предпочтение при благоприятных условиях отдается вариантам мелкого заложения, которые не менее чем в три раза дешевле проектов глубокого заложения. Но на сооружения, расположенные на поверхности тоннеля мелкого заложения, передаются значительные вибрации от проходящих поездов, негативно влияющие на их прочностные показатели и состояние здоровья людей, проживающих в домах вблизи от трассы метро [1].

Ещё в советское время в соответствии с постановлением Госстроя СССР тогдашнему МПС (в тот период метрополитены были в подчинении этого министерства) поручалось организовать разработку конструкции виброзащитного пути для подземных тоннелей. Во ВНИИЖТ организовали лабораторию с целевым заданием. В итоге виброзащитный путь с лежневым железобетонным подрельсовым основанием (сокращённо ВЗЛП) был разработан [2, 3].

Полигонные испытания ВЗЛП проведены в условиях экспериментального кольца ВНИИЖТ, а эксплуатационные — в кривых радиуса 500 м Киевского метро-



**Рис. 1. Общая схема  
виброзащитного пути  
с лежневым железобетонным  
подрельсовым основанием:**  
1 – кронштейн контактного рельса;  
2 – контактный рельс (с защитным  
коробом); 3 – съёмные боковые  
накладки; 4 – железобетонные  
лежни; 5 – водосборные  
канавки; 6 – водоотводный  
лоток; 7 – пешеходная  
дорожка; 8 – подлежащие  
амортизирующие прокладки;  
9 – путевой бетонный слой;  
10 – боковые амортизирующие  
прокладки; 11 – продольные  
упоры; 12 – амортизирующая  
прокладка продольного упора;  
h – возвышение наружного рельса.

политена [3]. На основании положительных результатов опытные участки конструкции виброзащитного пути перевели при приёмке в постоянную эксплуатацию из разряда опытных в разряд типовых. Специалисты Киевского метрополитена полностью отказались от дальнейшего использования в тоннелях-новостройках деревянных шпал. Вместо пути с деревянными шпалами начали строить ВЗЛП.

В 2000 году Новосибирский метрополитен освоил виброзащитный путь с возможностью использования в тоннелях как мелкого, так и глубокого заложения. И с учетом более раннего киевского и новосибирского опыта в 2003 году Госстрой России окончательно утвердил виброзащитный путь как универсальный по уровням заложения.

На рис. 1 приведен общий вид ВЗЛП, который принципиально отличается от отечественных и зарубежных конструкций тем, что в качестве подрельсового основания, отдельно для каждой рельсовой нити, используются продольно ориентированные железобетонные балки, называемые лежнями. К ним промежуточными рельсовыми скреплениями прикреплены рельсы.

Лежни не имеют жесткой связи с подлежащим основанием и между собой в поперечном горизонтальном направлении. Это

и обеспечивает отдельно каждой рельсовой нити вместе с лежнями возможность свободного перемещения в поперечном горизонте.

Перемещению лежней вместе с рельсами в продольном направлении оказывают сопротивление продольные упоры, которые размещены отдельно под каждой рельсовой нитью между торцами соседних лежней и постоянно находятся в жесткой связи с подлежащим основанием.

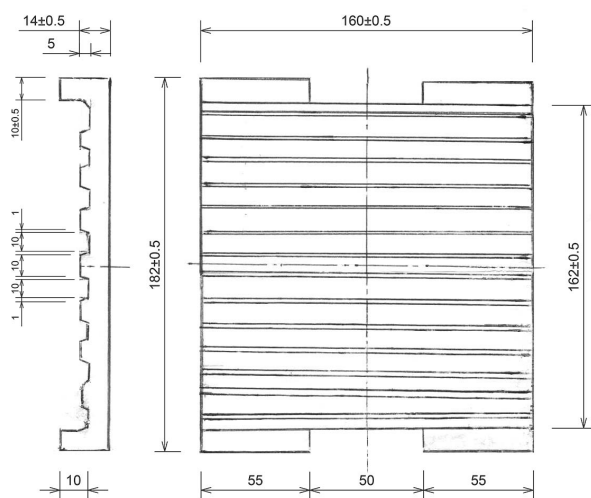
ОАО «Метрогипротранс» в 1993 году по техническому заданию ВНИИЖТ и при непосредственном его участии, а также опыту Киева разработал проектную документацию ВЗЛП для тоннелей столичного метро. Она была утверждена в конце декабря руководством Московского метрополитена и Московского метрополитена.

Однако вскоре «Метрогипротранс» принял другой вариант пути, предложенный московской фирмой «АБВ» без технико-экономического обоснования. Виброзащитный путь ВЗЛП [5], тем не менее, выгодно отличается от пути фирмы «АБВ» по следующим показателям [6, 7]:

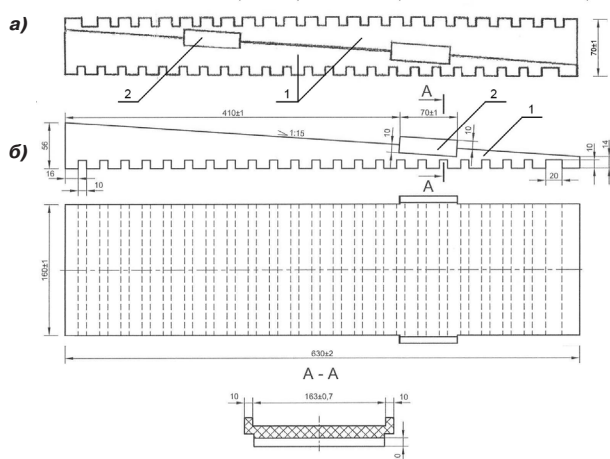
- продлением жизненного цикла железобетонных лежней до 70 лет;
- снижением не менее чем в 3,8 раза (в ценах 2006 года) стоимости элементов верхнего строения пути;



Между лежнями и бетонными продольно-боковыми упорами предусмотрена установка унифицированных амортизирующих электроизолирующих прокладок. Места их размещения приведены на рис. 1 и 2. Общий вид в боковых и продольных направлениях унифицированных амортизирующих электроизолирующих прокладок представлен на рис. 3. По направлению движения графиковых пассажирских поездов унифицированные амортизирующие



**Рис. 3. Общий вид унифицированных электроизолирующих прокладок, предназначенных для установки между боковыми, продольными упорами и лежнями.**



**Рис. 4. Общий вид подлежащей амортизирующей прокладки (а) и клинообразного электроизолирующего элемента подлежащей прокладки (б): 1 – клинообразный элемент подлежащей прокладки; 2 – приливы.**

прокладки размещают между первыми торцами лежней и продольными упорами.

В качестве промежуточного рельсового крепления предусмотрено бесподкладочное безрезьбовое анкерное крепление АРС, получившее широкое распространение в пути с железобетонными шпалами магистральных железных дорог России.

В нижней поверхности каждого лежня под подрельсовыми площадками на всю его ширину предусмотрены 10-миллиметровые углубления шириной 165 мм для размещения в этих зонах электроизолирующих амортизирующих подлежащих прокладок. Каждая прокладка состоит из двух однотипных клинообразных элементов (рис. 4). С целью исключения при эксплуатации смещения в продольном направлении одного клинообразного элемента относительно другого со стороны

боковых удлиненных их поверхностей предусмотрены приливы. Для исключения перемещения одного элемента относительно другого их необходимо устанавливать под лежнем так, чтобы со стороны оси пути располагалась утонченная торцевая часть первого (нижнего), а также утолщенная часть второго (верхнего) клинообразных элементов.

Материалом для изготовления клинообразных элементов подлежащих амортизирующих прокладок является специально подобранная по показателям твердости, жесткости, прочности и испытанная в лабораторных условиях электроизолирующая резина.

В зоне обеих рельсовых нитей со стороны оси пути в местах продольных упоров ставят прижимные накладки. Их используют для прижатия в поперечном горизон-





тальном направлении лежней к боковым упорам.

Стабильное положение прижимных накладок при эксплуатации может обеспечиваться с использованием устройств с резьбовыми или безрезьбовыми соединениями.

На рис. 5 представлен общий вид ВЗЛП в сочетании с резьбовым промежуточным рельсовым скреплением ЖБР на перегоне между ст. Шипиловская и ст. Зябликово Московского метрополитена. Скрепление ЖБР, как и АРС, получило широкое распространение [10] в пути с железобетонными шпалами магистральных железных дорог России. Однако безрезьбовое крепление АРС выгодно отличается от резьбового скрепления ЖБР.

В соответствии с пунктом 5.7.3 СНиП 32–02–2003 «Метрополитены» нормативами предусмотрено, что ширина рельсовой колеи должна составлять, в мм:

• на прямых и кривых участках радиусом 1200 м и более	1520
• на кривых участках радиусом от 600 до 1200 м	1524
• то же от 400 до 600 м	1530
• от 125 до 400 м	1535
• от 100 до 125 м	1540

При этом отклонения от нормы ширины колеи на прямых и кривых участках не должны превышать 2 мм.

Известно, что в кривых участках пути износ боковой рабочей поверхности головки рельсов происходит главным образом по наружной рельсовой нити [11].

При нынешних максимальных скоростях движения поездов метрополитенов плавность отвода ширины рельсовой колеи не должна превышать 1 мм на 1 погонный метр рельсовой нити. В этих случаях отвод плавности ширины колеи не более 2 мм на погонный метр пути целесообразно производить по одной наружной рельсовой нити. Причем в виброзащитном пути не требуется установка в узлах скрепления регулировочных прокладок.

В пути с известными железобетонными подрельсовыми основаниями [12, 13] обес-

печивать названный отвод ширины рельсовой колеи с принятой плавностью — как на уширение, так и на сужение по приведенному образцу с использованием разнотипных по размеру регулировочных прокладок — практически не представляется возможным.

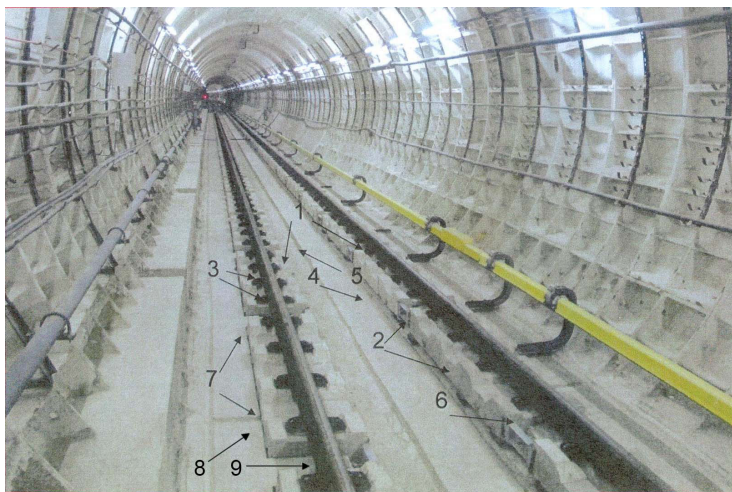
К сожалению, при строительстве и эксплуатации пути обычно переходят напрямую к ширине рельсовой колеи в соответствии с данными пунктов СНиП 32–02–2003. Игнорирование нормативных данных по отводам ширины рельсовой колеи, переводных и круговых кривых приводит к чрезмерно большой интенсивности износа боковой рабочей поверхности головки рельса и гребней колес подвижных составов.

Виброзащитный путь с лежневым железобетонным подрельсовым основанием (ВЗЛП) существенно упрощает регулировку ширины рельсовой колеи с нормируемым отводом не более 1 мм на погонный метр пути (при отводе одной рельсовой нити). При лежневом подрельсовом основании плавность отвода обеспечивается перемещением лежней вместе с рельсами в поперечном горизонтальном направлении на нужные величины перемещений рельсовых нитей.

Специалистами научно-исследовательского и испытательного центра «Перспективные технологии» запатентована технологическая последовательность осуществления плавного отвода ширины рельсовой колеи при использовании подрельсового основания в виде железобетонных лежней [5].

С учётом изложенного пункт 5.7.3 СНиП 32–02–2003 «Метрополитены» следует отменить как не соответствующий возможности отвода ширины рельсовой колеи с нормируемой величиной [7]. Виброзащитный путь позволяет обеспечить регулировку ширины рельсовой колеи с нормируемым отводом не более 2 мм на погонный метр по оси пути при максимально допускаемых скоростях движения поездов в отечественных метрополитенах.

Отвод ширины рельсовой колеи в переходных кривых следует начинать с ширины колеи 1520 мм от начала первой (по проекту) переходной кривой и далее с нормируемым отводом уширения до начала круго-



**Рис. 5. Общий вид виброзащитного пути с лежневым железобетонным подрельсовым основанием на перегоне от ст. Шипиловская до ст. Зябликово Московского метрополитена:**  
**1 – железобетонные лежни;**  
**2 – амортизирующие подрельсовые прокладки;**  
**3 – промежуточное рельсовое скрепление ЖБР;**  
**4 – пешеходная дорожка;**  
**5 – водоотводный лоток;**  
**6 – боковая прижимная накладка;**  
**7 – боковая амортизирующая прокладка;**  
**8 – боковой упор;**  
**9 – продольный упор.**

вой кривой в соответствии с проектом. На всей длине круговой кривой ширина рельсовой колеи постоянна. С конца круговой кривой и до конца второй переходной кривой – сужение рельсовой колеи с нормируемым отводом и выходом на прямой участок пути.

Представленная конструкция виброзащитного пути обеспечивает снижение уровня вибрации на 18 дБ. И есть ресурс, который позволяет снизить уровень вибрации ещё на 3–4 дБ.

Кроме того, в зонах перехода с податливого пути с земляным полотном на податливый виброзащитный путь динамическая нагрузка на элементы пути и подвижного состава снижается не менее чем в 1,5 раза по сравнению с переходом на жёсткий путь тоннеля или моста.

Названные в статье аргументы, полагаем, свидетельствуют о целесообразности более полного использования конструкции ВЗЛП в метрополитенах.

## ЛИТЕРАТУРА.

1. СН 2.2.4/2.1.8 566–96. Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданиях / 2.2.4. Физические факторы производственной среды; 2.1.8. Физические факторы окружающей природной среды.
2. Кравченко Н. Д. Новые конструкции железнодорожного пути для метрополитенов. – М.: Транспорт. – 1994. – 143 с.
3. Кравченко Н. Д. Выбор рациональной конструкции подрельсового основания для специфических условий эксплуатации железнодорожного пути // Линия жизни профессора В. Ф. Яковлева / Под ред. В. А. Сидякова. – М.: Интекст, 2006. – С. 262–272.

4. Карпушенко Н. И., Величко Д. В. Обеспечение надежности железнодорожного пути // Труды СГУПС. – Новосибирск, 2008. – 128 с.

5. Патент 2415987. Российская Федерация. МПК E01B2/00. Железнодорожный путь для мостов и тоннелей / Кравченко Н. Д., Круглов В. М., Аксенов Ю. Н., Богачев А. Ю. Зарегистрирован в Госреестре изобретений РФ 10.04. 2011.

6. Кравченко Н. Д., Башлыков А. В., Курило Ю. А. Малообслуживаемый железнодорожный путь наземных участков с железобетонным основанием для промышленного транспорта // Промышленный транспорт XXI. – 2013. – № 1. – С. 45–48.

7. Гусев Б., Кравченко Н., Кравченко Г. Виброзащитный железнодорожный путь для скоростного городского транспорта // Труды конференции AFES2005, 23–30 March. – International academy of engineering, Russian academy of engineering, Prydniprovsky center of international academy of engineering, Hong Kong polytechnic university, city university of Hong Kong, Hong Kong university of science engineering, Hong Kong, SAR China. – 2005. – С. 174–179.

8. Коган А. Я. Аналитическая оценка уровня вибраций пути под проходящими поездами, сформированными из однотипных экипажей // Вестник ВНИИЖТ. – 2013. – № 3. – С. 3–10.

9. Ромен Ю. С. Факторы, обуславливающие процессы взаимодействия системы колесо-рельс при движении поезда в кривых // Вестник ВНИИЖТ. – 2015. – № 1. – С. 17–26.

10. Евдокимов Б. А. Влияние жесткости скреплений на стабильность пути в зоне стыков // Линия жизни профессора В. Ф. Яковлева / Под ред. В. А. Сидякова. – М.: Интекст, 2006. – С. 245–256.

11. Яковлев В. Ф., Андреева Л. А., Дудкин Е. П., Козловский М. Ю. Определение параметров рельсовой колеи в кривых малого радиуса // Линия жизни профессора В. Ф. Яковлева / Под ред. В. А. Сидякова. – М.: Интекст, 2006. – С. 200–203.

12. Лысюк В. С., Каменский В. Б., Башкатова Л. В. Надежность железнодорожного пути / Под ред. В. С. Лысюка. – М.: Транспорт, 2001. – 286 с.

13. Воробьев Э. В., Никонов А. М., Сеньковский А. А., Ефремов Ю. В., Сидраков Ф. Ф. Техническая эксплуатация железных дорог и безопасность движения. – М.: Маршрут, 2005. – 533 с.

Координаты авторов: **Кравченко Н. Д.** – (495) 684–2159, **Кравченко Г. М.** – [kravch\\_galina@mail.ru](mailto:kravch_galina@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 20.04.2016, принята к публикации 06.07.2016.



## TRACK ON LONGITUDINAL CONCRETE BEAMS FOR METRO TUNNELS

**Kravchenko, Nikolay D.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

**Kravchenko, Galina M.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

### ABSTRACT

The article describes the design features and technology of laying of a vibroprotective track, wherein longitudinally oriented reinforced concrete

beams (or sills) without transversal connectors, are used as a rail base. The advantages of this design as compared by substantial indicators with other constructions, used in metro, are shown.

**Keywords:** metro, tunnel, vibration protection track, longitudinal concrete beams, sills, control, gauge width, rail fastening.

**Background.** With increase in the volume of metro construction in the cities of the country under favorable conditions, preference is given to embodiments of subsurface that are no less than three times cheaper than deep level projects. But on the facilities located on the surface of shallow tunnel, significant vibration from passing trains is transferred, affecting their strength performance and health of people living in houses near metro tracks [1].

Even in Soviet times, in accordance with the decision of USSR State Committee for Construction the Ministry of Railways (in that period metro was subordinated to this ministry) was instructed to organize the development of a design of vibroprotective track for underground tunnels. In VNIIZhT [Russian research institute of railways] a laboratory with that special objective was organized. As a result, vibroprotective track with longitudinally oriented concrete beams (abbreviated VPTLCB) was developed [2, 3].

VPTLCB field tests were conducted in experimental ring of VNIIZhT and maintenance – in the curves of radius of 500 m of Kiev metro [3]. Based on the positive results experimental sections of construction of a vibroprotective track were accepted and transferred into operation from the category of test into standard. Kiev metro specialists completely

abandoned the use of wooden sleepers in new tunnels. Instead of a track with wooden sleepers the construction of VPTLCB began.

In 2000, Novosibirsk metro mastered a vibroprotective track with an ability to use in tunnels, both of shallow and deep level. And in view of the earlier experience of Kiev and Novosibirsk metro Russian Gosstroy [then ministry of construction] finally approved vibroprotective track as universal solution regardless of laying levels.

**Objective.** The objective of the authors is to consider a design of a vibroprotective track using longitudinal concrete beams without transversal connectors laid on concrete foundation and to prove its engineering advantages.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, comparison, modeling.

**Results.** Pic. 1 is an overall view of VPTLCB which is fundamentally different from domestic and foreign structures in which as a rail base, separately for each rail line longitudinally oriented concrete beams (or sills), are used. Rails are fastened to them using intermediate rail fastenings.

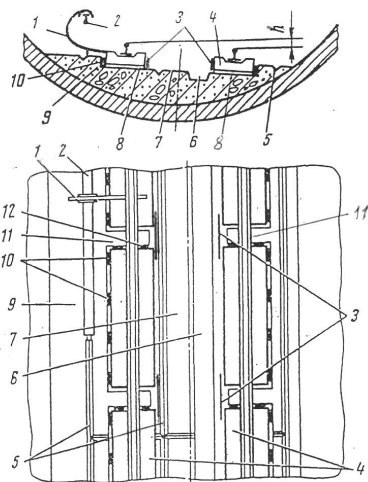
Concrete beams do not have a rigid connection with an under-beam foundation and between each other in a laterally horizontal direction. [The so described longitudinally oriented concrete beams are shortly called after in the article LOC-beams – Ed. note]. So each separate rail line joint to a LOC-beam has a possibility of free movement in the lateral horizon.

Longitudinal supports, which are placed separately under each rail line between ends of adjacent LOC-beams and which are in a tight connection with under-beam foundation, resist movement of LOC-beams with rails in the longitudinal direction.

JSC Metrogiprottrans [Metro design institute] in 1993 under the technical project of VNIIZhT and with its direct participation, as well as using practices of Kiev metro, developed a project documentation of VPTLCB for tunnels of Moscow metro. It was approved in late December by senior management of Moscow Metrostroy [Metro construction company] and Moscow metro.

However, Metrogiprottrans adopted soon another track option, proposed by Moscow company «ABV» without a feasibility study. Vibration-protection track VPTLCB [5], however, compares favorably with the track of the company «ABV» basing on the following parameters [6, 7]:

- extension of a life cycle of LOC-beams to 70 years;
- reduction by not less than 3,8 times (in 2006 prices) of the costs of the elements of track superstructure;
- exclusion of cutting-out of a track concrete layer when substituting a rail base (LOC-beams);

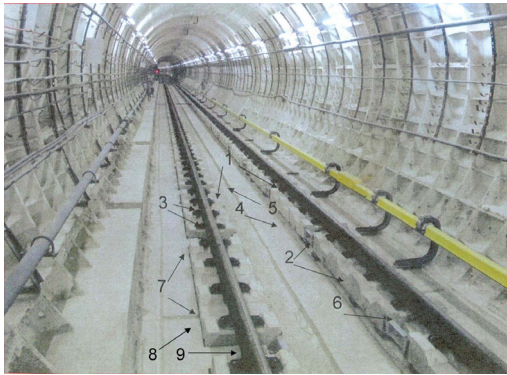


**Pic. 1. General scheme of a vibroprotective track with LOC-beams reinforced concrete rail base:** 1 – bracket of a contact rail; 2 – contact rail (with protection box); 3 – removable side pads; 4 – reinforced LOC-beams; 5 – drainage gutters; 6 – drainage gutter; 7 – a footpath; 8 – under-beam damping pads; 9 – track concrete layer; 10 – lateral dampening pads; 11 – longitudinal stops; 12 – damping pad of longitudinal stop; h – elevation of the outer rail.









**Pic. 5. General view of a vibroprotective track with LOC-beams on the haul from station Shipilovskaya to station Zyablikovo of Moscow Metro:**  
**1 – reinforced LOC-beams; 2 – damping under-beam gaskets; 3 – intermediate rail fastenings ZHBR; 4 – footpath; 5 – drainage gutter; 6 – lateral clamping pad; 7 – lateral damping gasket; 8 – side stop; 9 – longitudinal stop.**

The utilization technology leads to formation of highly crushed dust particles that spread in the air over long distances from the source of concrete crushing. The presence of people in a dusty area has a very negative impact on their health. Currently, experts propose to ban utilization of sleepers by crushing method.

The joint research and test center «Advanced Technologies» (MIIT) embodiments of a unified vibroprotective track for double-track tunnels, as well as for single-track and double-track bridges were developed and patented [5].

On each LOC-beam four rail seats for rails R65 are provided. The distance between the axles of rail seats of 625 mm is selected on the basis of sleeper density as 1600 pcs / km, for both direct and curved sections of railway track. The length of a LOC-beam is taken equal to 2230 mm and the distance between adjacent ends of LOC-beams is 270 mm, which as a whole is multiple of the standard length of the rails. The LOC-beams are made of concrete, corresponding in strength to class no lower than grade B40.

Side stops of LOC-beams are concrete vertical surfaces, protruding from under-beam base to the upper surface of LOC-beams. Reinforcement of side stops is made in conjunction with reinforcement of under-beam sites. On under-beam platforms and side stops should be laid concrete with strength not less than class B20.

Between LOC-beams and concrete longitudinal-side stops the setting of uniform electrically insulating damping gaskets is provided. Their locations are shown in Pic. 1 and 2. The general view of uniform electrically insulating damping gaskets in lateral and longitudinal directions is shown in Pic. 3. Along the direction of movement of scheduled passenger trains uniform electrically insulating damping gaskets are placed between the first ends of LOC-beams and longitudinal stops.

As an intermediate rail fastening is provided unlined threadless anchor fastening ARS, which is widely used on the track with concrete sleepers of main railways of Russia.

In the lower surface of each LOC-beam under rail seats and along its entire width 10-mm sockets with a width of 165 mm are provided in order to place in these areas electrically insulating damping under-

beam gaskets. Each gasket consists of two similar wedge-shaped elements (Pic. 4). In order to avoid shift during operation in the longitudinal direction of one wedge-shaped element relative to the other from their lateral elongated surfaces, tides are provided. To exclude the shift of one element relative to one another they should be installed under a LOC-beam in such a way that from the track center the thinned end portion of the first (the lower), and thickened portion of the second (upper) wedge-shaped elements were located.

The material for manufacture of the wedge-shaped elements of under-beam pads is electrically insulating rubber, specially selected according to indicators of hardness, toughness, durability and laboratory tested.

In the area of both rail lines clamping pads are put from the track center in the field of longitudinal stops. They are used for pressuring LOC-beams in the transverse horizontal direction to the side stops.

The stable position of clamping pads during operation can be achieved with the use of devices with threaded or unthreaded connections.

Pic. 5 is an overall view of VPTLCB in conjunction with a threaded intermediate rail fastenings ZHBR on the haul between stations Shipilovskaya and Zyablikovo of Moscow metro. Fastening ZHBR as ARS, is widespread [10] in the track with concrete sleepers of main railways of Russia. However, threadless fastening ARS compares favourably with the threaded fastening ZHBR.

In accordance with paragraph 5.7.3 of SNiP [Russian designing & construction standard] 32–02–2003 «Metro» the regulations stipulate that the width of the track gauge must be in mm:

• on straight and curved sections of 1200 m radius and more	1520
• in curves of radius between 600 and 1200 m	1524
• the same from 400 to 600 m	1530
• from 125 to 400 m	1535
• from 100 to 125 m	1540

In this case deviations from the norm in gauge width on straight and curved sections should not exceed 2 mm.

It is known that in curved sections the wear of side working surface of a rail head takes place mainly on the outer rail line [11].

At current maximum speeds of metro trains movement the smoothness of retraction of the rail gauge width shall not exceed 1 mm per 1 linear meter of rail line. In these cases, withdrawal of smoothness of gauge of no more than 2 mm per 1 linear meter of track should be performed on one outer rail line. Moreover, in the vibration protection track installation of adjusting shims in fastening assemblies is not required.

On the track with certain concrete rail seat [12, 13] it is almost impossible to provide the named withdrawal of rail gauge width with taken smoothness – both broadening and narrowing on the model given by using different types of adjusting shims in size.

Unfortunately, during construction and operation of the track it is usually transferred directly to the width of the rail gauge in accordance with the data of paragraphs of SNiP 32–02–2003.

Ignoring normative data on withdrawal of width of the rail gauge, on turnout and circular curves leads to excessive high wear and tear intensity of side working surface of the rail head and wheel flanges of rolling stock.

VPTLCB greatly simplifies adjustment of the track width with controlled withdrawal of no more than 1 mm per 1 linear meter of the track (when retracting one rail line). In case of under-beam base the smoothness of withdrawal is provided with displacement of LOC-beams together with rails in the transverse horizontal direction to the desired values of displacement of rail lines.

Specialists of research and test center «Advanced Technologies» patented technological sequence of the smooth withdrawal of the track width using the rail base in the form of LOC-beams [5].

Taking into account the above, paragraph 5.7.3 of SNIP 32–02–2003 «Metro» should be abolished as not corresponding to an opportunity of withdrawal of the track width with a normalized value [7]. Vibroprotective track allows adjustment of the track width with controlled withdrawal of no more than 2 mm per 1 linear meter along the track center at the maximum permissible speed of trains in domestic metro.

Withdrawal of gauge width in turnout curves should begin with a width of 1520 mm from the beginning of the first (project) turnout curve and then with a normalized withdrawal to broadening before the start of the circular curve in accordance with the project. On the entire length of the circular curve the width of the track is constant. From the end of the circular curve to the end of the second turnout curve, narrowing of the track should be made with controlled withdrawal and entering the straight section of track.

**Conclusion.** Presented design of vibration protection track reduces vibration level by 18 dB. And there is a resource that can reduce vibration by another 3–4 dB.

In addition, in areas of transition from an adjustable track with a roadbed on an adjustable vibration protection track the dynamic load on the elements of track and rolling stock reduces by at least 1.5 times in comparison with the transition to a hard track of a tunnel or a bridge.

The arguments, named in the article, we believe, indicate the feasibility of a fuller use of VPTLCB design in metro.

## REFERENCES

1. SN2.2.4 / 2.1.8 566–96. Sanitary norms. Industrial vibration, vibration in residential and public buildings / 2.2.4. Physical factors of the working environment; 2.1.8. Physical factors of environment [SN2.2.4/2.1.8 566–96. Sanitarnye normy. Proizvodstvennaya vibratsiya, vibratsiya v pomeshcheniyah zhilyh i obshchestvennyh zdaniyah / 2.2.4. Fizicheskie faktory proizvodstvennoy sredy; 2.1.8. Fizicheskie faktory okruzhayushhej prirodnoy sredy].
2. Kravchenko, N. D. New construction of a railway track for metro [Novye konstrukcii zheleznodorozhnogo

puti dlja metropolitenov]. Moscow, Transport publ., 1994, 143 p.

3. Kravchenko, N. D. Choice of a rational design of rail base for specific operating conditions of a railway track [Vybora racional'noj konstrukcii podrel'sovogo osnovaniya dlja specificheskikh uslovij ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti]. In: Life line of professor V. F. Yakovlev. Ed. by V. A. Sidyakov. Moscow, Intekst publ., 2006, pp. 262–272.

4. Karpuschenko, N. I., Velichko, D. V. Provision of railway track reliability [Obespechenie nadezhnosti zheleznodorozhnogo puti]. Trudy SGUPS, Novosibirsk, 2008, 128 p.

5. Patent 2415987. The Russian Federation. IPC E0182 / 00. Railway track for bridges and tunnels [Patent 2415987. Rossijskaja Federacija. MPK E0182/00. Zheleznodorozhnyj put' dlja mostov i tonnellej]. Kravchenko, N. D., Kruglov, V. M., Aksenov, Yu. N., Bogachev, A. Yu. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation on 10.04. 2011.

6. Kravchenko, N. D., Bashlykov, A. V., Kurilo, Yu. A. Low-maintenance railway track of land sections with a reinforced concrete base for industrial transport [Maloobsluzhivayemyj zheleznodorozhnyj put' nazemnykh uchastkov s zhelezobetonnym osnovaniem dlja promyshlennogo transporta]. Promyshlennyy transport XXI, 2013, Iss. 1, pp. 45–48.

7. Gusev, B., Kravchenko, N., Kravchenko, G. Vibration protection track for high speed urban transport [Vibrozaschitnyj zheleznodorozhnyj put' dlja skorostnogo gorodskogo transporta]. Proceedings of Conference AFES 2005. 23 March – 30 March, 2005. Hong Kong, SAR China, 2005, pp. 174–179.

8. Kogan, A. Ya. Analytical assessment of the level of vibration of a track under passing trains, formed from the same type of vehicles [Analiiticheskaya ocenka urovnya vibratsii puti pod prohodjashimi poezdami, sformirovannymi iz odnotipnykh ekipazhej]. Vestnik VNIIZhT, 2013, Iss. 3, pp. 3–10.

9. Romen, Yu. S. Factors causing the interactions of the system wheel-rail in train motion in curves [Faktory, obuslavlivajushhie processy vzaimodejstviya sistemy koleso-rel's pri dvizhenii poezda v krivyh]. Vestnik VNIIZhT, 2015, Iss. 1, pp. 17–26.

10. Evdokimov, B. A. Influence of stiffness of fastenings on track stability [Vlijanie zhestkosti skreplenij na stabil'nost' puti v zone stykov]. In: Life line of professor V. F. Yakovlev. Ed. by V. A. Sidyakov. Moscow, Intekst publ., 2006, pp. 245–256.

11. Yakovlev, V. F., Andreeva, L. A., Dudkin, E. P., Kozlovsky, M. Yu. Defining the parameters of track gauge in curves of small radius [Opredelenie parametrov rel'sovoj kolei v krivyh malogo radiusa]. In: Life line of professor V. F. Yakovlev. Ed. by V. A. Sidyakov. Moscow, Intekst publ., 2006, pp. 200–203.

12. Railway track reliability [Nadezhnost' zheleznodorozhnogo puti]. Ed. by V. S. Lysiuk. Moscow, Transport publ., 2001, 286 p.

13. Vorobiev, E. V., Nikonov, A. M., Senkovskiy, A. A., Efremov, Yu. V., Sidrakov, F. F. Technical operation of railways and traffic safety [Tehnicheskaja ekspluatatsiya zheleznykh dorog i bezopasnost' dvizheniya]. Moscow, Marshrut publ., 2005, 533 p. ●

Information about the authors:

**Kravchenko, Nikolay D.** – D.Sc. (Eng.), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, +7 (495) 684–2159.

**Kravchenko, Galina M.** – Ph.D. (Eng.), associate professor of the department of Engineering science, design, standardization and certification of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, kravch\_galina@mail.ru.

Article received 20.04.2016, accepted 06.07.2016.

